



INJEÇÃO DE CARVÃO VEGETAL MISTURADO A PNEUS COMO FORMA DE REDUZIR O CONSUMO DE ENERGIA EM UMA USINA SIDERÚRGICA¹

Bruno Corrêa Pinheiro²

Ramon Silveira Assis Barros³

Paulo Santos Assis⁴

Resumo

As carcaças de pneus causam atualmente um grande problema ambiental, pois o mesmo leva muito tempo para se decompor, além de liberar substâncias tóxicas que agredem o meio ambiente. E como o consumo de pneus vem aumentando a cada dia, é preciso dar uma utilidade a esse resíduo. Através de alguns experimentos conseguiu-se verificar que o pneu possui uma boa combustibilidade, essa característica vem despertando o interesse de siderurgistas em utilizá-lo como uma fonte de combustível nos altos-fornos, tornando importante a análise da taxa de combustão obtida quando se injeta o pneu pulverizado puro ou quanto misturado com outros carvões também pulverizados. O presente trabalho mostra dados de um projeto que visa avaliar os resultados de combustão obtidos quando se mistura carvão vegetal e carcaça de pneus, ambos pulverizados, em diferentes proporções, de modo a se identificar qual mistura desses materiais proporcionará um melhor índice de combustão, e dessa forma seja analisada a viabilidade econômica da aplicação da metodologia em altos-fornos.

Palavras-chave: Pneu; Injeção; Carvão vegetal; Alto-forno.

INJECTION OF MIXTURES OF CHARCOAL AND TIRES AS A WAY TO REDUCE THE ENERGY IN THE STEELPLANT

Abstract

The carcasses of the tires are currently causing a major environmental problem because they take a long time to decompose, and beyond that, they release toxic substances which harm the environment. And since the consumption of tires is increasing day by day, it's necessary to give a value to this waste. Through some experiments, it could be noted that the tire has good combustibility. This feature has been arousing the interest of steel plants in order to use it as a source of fuel in blast furnaces, making important the analysis of the combustion rate obtained both when it injects the sprayed-pure tire and mixed with other coals types. This present study shows data from a project to assess combustion results obtained when mixing charcoal and carcass of tires, both injected in different proportions, to identify which combination of these materials will provide a better combustion rate; and thus is considered the economic viability of the application of the methodology in blast furnaces.

Key words: Tires; Injection; Charcoal; Blast furnace.

¹ Contribuição técnica ao 31º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 25º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 17 a 20 de agosto de 2010, Foz do Iguaçu, PR

² ABM Member. Engineer at Escola de Minas – UFOP; Eng da SINOBRÁS.

³ ABM Member. Under-Grad. Student at Escola de Minas - UFOP

⁴ ABM Member. Full Prof. at Escola de Minas – UFOP. Prof at REDEMAT, Brazil. Honorary Prof. by HUST, China. Researcher on Iron and Steelmaking, Energy, Environment.



1 INTRODUÇÃO

Os pneus sempre causaram grandes problemas ambientais, pois além de levar muito tempo para se decompor, liberam substâncias tóxicas que agredem o meio ambiente. Com o aumento no consumo de pneus, a necessidade de dar uma utilidade a esse resíduo tornou fator imprescindível nos tempos atuais. Por outro lado, a partir de alguns experimentos conseguiu-se verificar que o pneu possui uma boa combustibilidade e essa característica acabou despertando o interesse de metalurgistas em utilizá-lo como fonte de energia nos altos-fornos. Dessa maneira, torna-se importante analisar a taxa de combustão obtida quando se injeta o pneu pulverizado puro, ou quando misturado com outros carvões pulverizados.

Ao promover a reciclagem de pneus através da injeção da mistura de carvão vegetal pulverizado com carcaça de pneu moído pelas ventaneiras do alto-forno além de permitir reduzir os custos no processo de fabricação de gusa, busca-se utilizar matérias primas de elevado impacto ambiental, variando as fontes de energia utilizadas no processo de redução dando uma utilidade a esses materiais que causam sérios danos ambientais.⁽¹⁾ Misturas contendo carvão vegetal e pneus ambos triturados podem apresentar elevados índices de combustão quando comparadas com pneu e carvão não misturados.⁽²⁾

O presente trabalho mostra dados de um projeto que visa avaliar os resultados de combustão obtidos quando se mistura carvão vegetal e carcaça de pneus, ambos pulverizados, em diferentes proporções, de modo a se identificar qual mistura desses materiais proporcionará um melhor índice de combustão, e dessa forma analisar a viabilidade econômica da aplicação da metodologia em altos-fornos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a determinação da taxa de combustão, o pneu foi triturado em diferentes tamanhos de grão. Essa moagem foi feita através de um moinho criogênico conectado a um cilindro de nitrogênio líquido, conforme a Figura 1. Em temperaturas baixas em torno de -195°C , a borracha do pneu se vitrifica, o que facilita sua moagem. Foram retiradas diferentes amostras de várias carcaças de pneus. Cerca de 100 kg do material foi picado, e posteriormente uma massa definida (≈ 5 kg) da borracha picada foi levada ao moinho para a sua cominuição. De posse das amostras, bem como amostras de pó de carvão vegetal usados em uma usina siderúrgica em Açailândia, especificamente procedentes da usina da Gusa Nordeste, foram preparadas novas amostras conforme se segue. Comenta-se que o carvão vegetal pulverizado tinha um tamanho de grão menor que $80\% < 150 \mu\text{m}$. O pneu foi misturado em diferentes proporções com o carvão vegetal pulverizado, de modo a simular as diferentes taxas de injeção, conforme a Tabela 1. Na segunda coluna mostram-se as quantidades de carvão vegetal, na terceira a quantidade de pneu e na última o valor correspondente a um alto-forno real (em kg/tgusa). A Tabela 2 ilustra os resultados de análise do carvão vegetal e do pneu ensaiados.



Figura 1: Moinho criogênico acoplado ao cilindro de nitrogênio líquido – [Foto retirada na unidade existente no laboratório de materiais da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP].

Tabela 1: Quantidade de materiais que foram preparados para simulação no SEGT

ENSAIO	MATERIAL (mg)		TAXA DE INJEÇÃO (kg/tgusa)
	CARVÃO VEGETAL	PNEU	
1	50	0	50
2	15	35	
3	25	25	
4	35	15	
5	0	50	
6	100	0	100
7	30	70	
8	50	50	
9	70	30	
10	0	100	
11	150	0	150
12	45	105	
13	74	75	
14	105	45	
15	0	150	

Tabela 2: Resultados de análise química elementar e imediata dos materiais

Especificação	Carvão vegetal	Pneu (*)
Carbono fixo	64,5	83
Matérias voláteis	24,5	
Cinzas	11,0	6
H		7
O		2,5
S		0,3

(*) Carbono elementar



As misturas foram injetadas no SEGT (Simulador de Elevado Gradiente Térmico). Esse equipamento simula a região das ventaneiras de um alto-forno considerando que o material é oxidado sob elevado gradiente térmico. A Figura 2 mostra o equipamento utilizado. O material injetado entra em contato com o gás vindo do forno de pré-aquecimento e juntos vão para o forno de combustão, onde o material é queimado.

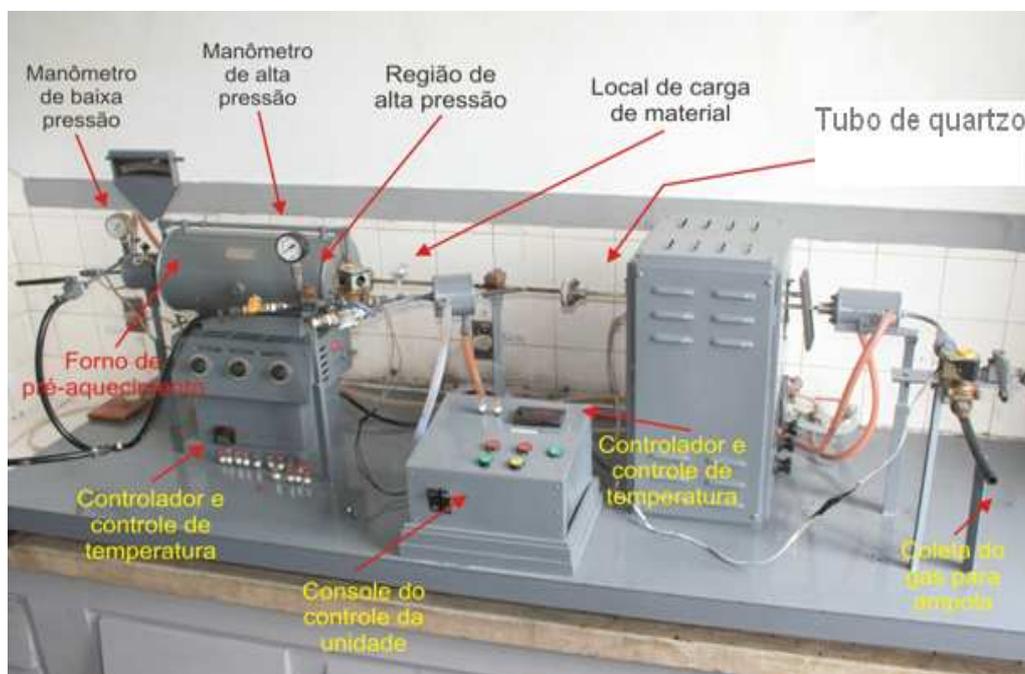


Figura 2: Equipamento utilizado para simular a injeção de carvão pulverizado em alto-forno.^(3,4)

Os gases gerados desse processo são coletados em ampolas e em seguida seguem para o analisador de gás ORSAT, conforme ilustra a figura 3. Este equipamento é constituído de um conjunto de ampolas que tem em seu interior as soluções responsáveis pelas análises dos gases CO, CO₂ e O₂. Uma vez determinadas as frações desses gases, torna-se possível calcular as taxas de combustão da mistura contendo carvão vegetal e pneus.

Entende-se como taxa de combustão a razão entre a massa do carbono queimado e a massa do carbono inicial, multiplicado por cem. Os dados necessários para esse cálculo são: análise elementar da mistura, massa da mistura antes do teste, pressões P1 e P2 e temperaturas T1 e T2 do SEGT, volumes dos gases gerados, volume das regiões do SEGT, pressões e temperatura dos gases das ampolas antes da coleta dos gases, pressão final do SEGT após cada teste. Através de algumas equações, chega-se finalmente a expressão para o cálculo da taxa de combustão:

$$T_c = k.(CO + CO_2).n_g.12.10^5 / (M_a.C_f)$$

Onde T_C é a taxa de combustão, k é um valor determinado em função dos parâmetros do ensaio, CO e CO₂ correspondem aos valores (%) determinados dos respectivos gases de combustão, n_g é o número de moles do gás coletado, M_a é a massa da amostra (em mg) antes do teste e C_f é o teor (% em massa) em carbono fixo do combustível usado.

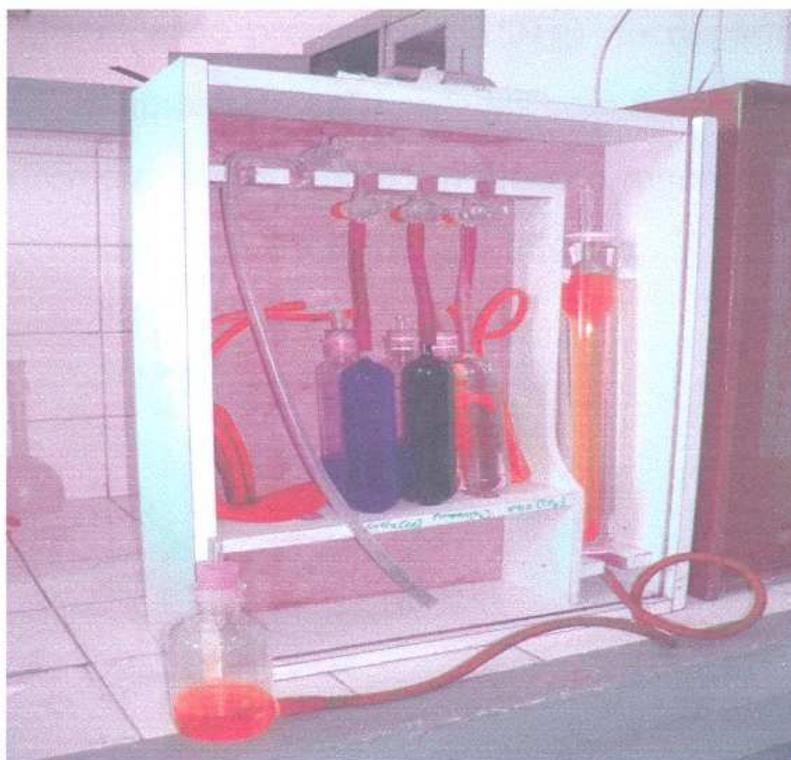


Figura 3: Vista geral do analisador de gás ORSAT no Núcleo de Siderurgia e Meio Ambiente do Depto de Metalurgia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.

3 RESULTADOS

3.1 Efeito do Tamanho de Grão do Pneu Moído na sua Taxa de Combustão

É de extrema importância definir o tamanho do grão de pneu moído a ser injetado no alto-forno, tendo em vista que a diminuição do material interfere diretamente na taxa de combustão. Dessa maneira, no intuito de se obter o tamanho ideal do grão de pneu moído a ser injetado no alto-forno triturou-se o material em diferentes tamanhos. Esses diferentes tamanhos de material foram queimados num simulador de injeção de elevado gradiente térmico, que possui as condições mais próximas das condições de um alto-forno real, com capacidade de produção de 500 toneladas de gusa por dia.⁽²⁾ O material foi introduzido a uma taxa de injeção de 50 kg por tonelada de gusa, taxa de sopro igual a 1.200 Nm³ por tonelada de gusa e o consumo de carbono fixo igual a 460 kg por tonelada de gusa.⁽⁵⁾

O experimento com a injeção de diferentes tamanhos de grão de pneu moído demonstrou que o tamanho do material injetado é inversamente proporcional a taxa de combustão, como mostrado na Figura 4.

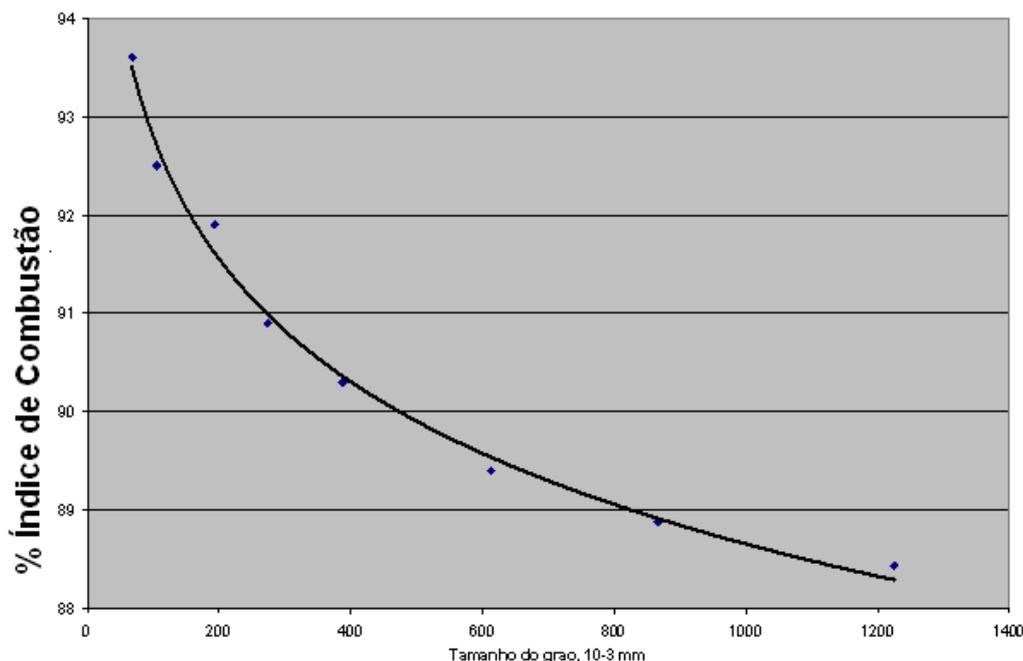


Figura 4: Efeito do tamanho de grão de pneu moído sobre o índice de combustão. Taxa de injeção = 50 kg/tgusa.

3.2 Efeito da Mistura de Carvão Vegetal e Pneus na Combustão

Tão importante quanto definir o tamanho do grão do pneu é definir a proporção desse material a ser injetada no alto-forno de maneira que se obtenha uma maior taxa de combustão. Assim, utilizaram-se diferentes proporções de misturas de pneus, moídos, em valores crescentes com carvão vegetal, considerando uma mesma taxa de injeção. Nestes ensaios foi possível observar que a injeção da mistura de carvão vegetal e pneu apresentam uma maior taxa de combustão do que quando cada material é injetado separadamente. Neste caso observou-se um valor máximo de aproximadamente 96% na taxa de combustão, para cerca de 42% de pneu na mistura, conforme a Figura 5.

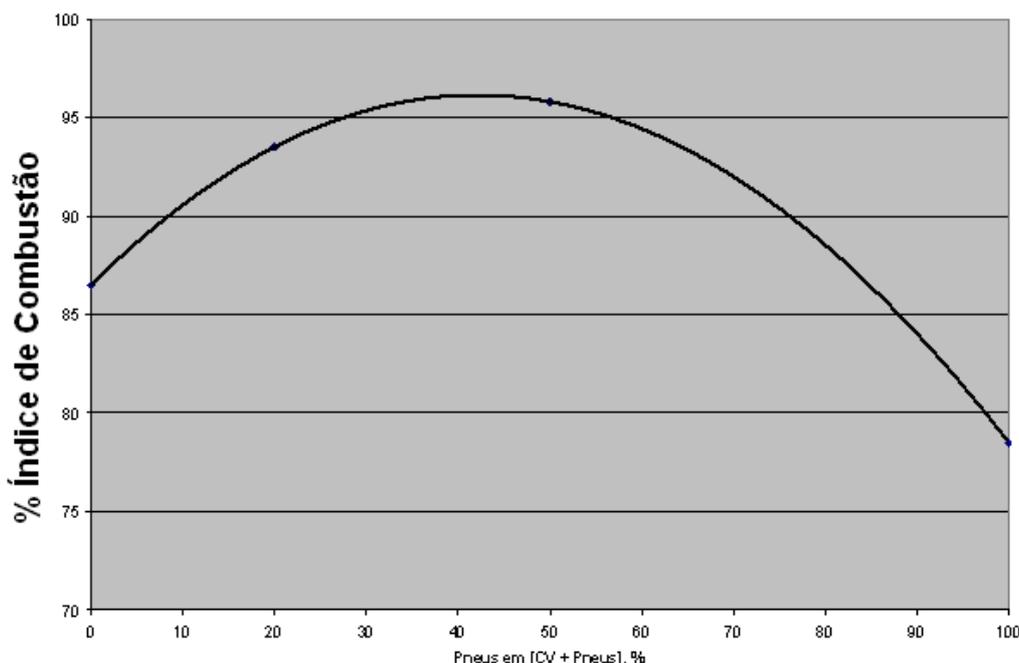


Figura 5: Efeito do aumento do percentual de pneu em uma mistura com carvão vegetal cominuído na sua faixa convencional de 80 % < 200 #. Tamanho médio do pneu de 68 μ m. Taxa de injeção média: 100 kg/tgusa.

3.3 Efeito da Taxa de Injeção de Pneu Moído na Taxa de Combustão

A taxa de injeção (kg/t gusa) altera de maneira substancial a taxa de combustão assim como o tamanho do grão do pneu moído e a porcentagem de pneu na mistura. Todavia o efeito da taxa de injeção em relação a taxa de combustão possui características diferentes, tendo em vista que a partir de determinada taxa de injeção há uma queda significativa no índice de combustão. Para uma mistura de 70% de carvão vegetal e 30% de pneu a uma taxa de injeção variando entre 50 kg e 100 kg da mistura por tonelada de gusa houve uma oscilação de 3% na taxa de combustão, ao passo que para taxas de injeção variando entre 100 kg a 150 kg da mistura por tonelada de gusa a oscilação foi de 6% na taxa de combustão, como se pode observar na Figura 6.

Neste ensaio a taxa de injeção variou de 50 kga 150 kg da mistura por tonelada de gusa. Observou-se que o índice de combustão variou de 96,5% a 87,5%. O maior valor da taxa de combustão foi 96,5%, para uma taxa de injeção de 50 kg/tgusa.

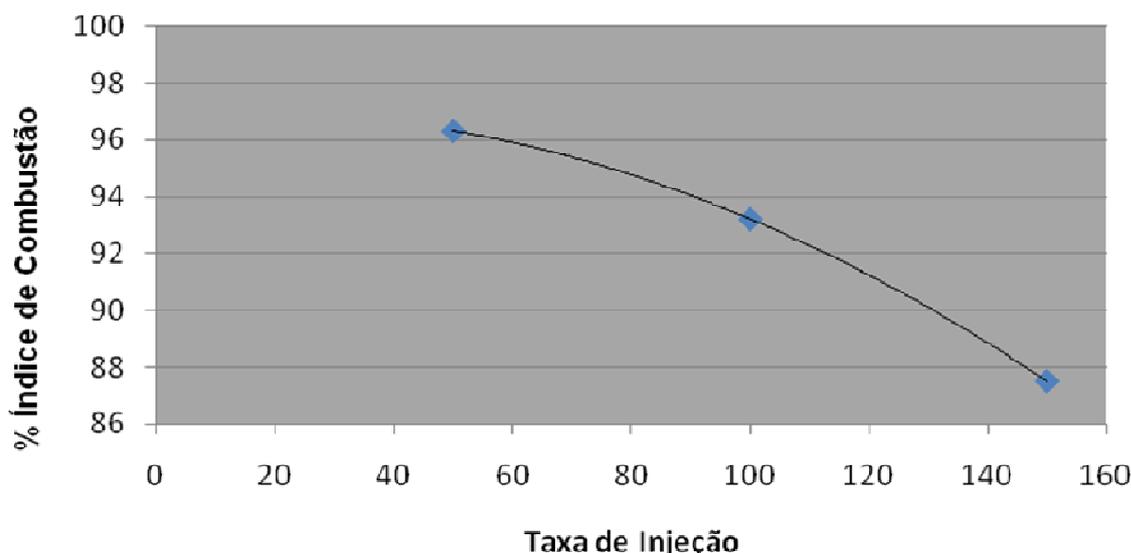


Figura 6: Efeito do aumento da taxa de injeção da mistura contendo 70% de carvão vegetal e 30% de pneu sobre o índice de combustão.

4 DISCUSSÃO

Com os resultados obtidos nos experimentos, observou-se que o tamanho do grão de pneu injetado é inversamente proporcional a taxa de combustão. Da mesma maneira, foi possível observar que a injeção da mistura de carvão vegetal e pneu apresentam uma maior taxa de combustão do que cada material injetado separadamente. Os resultados também mostraram que misturas de dois combustíveis podem auxiliar na taxa de combustão. Este fato pode estar relacionado ao efeito combinado da combustão e da pirólise dos reductores que aconteceria em momentos distintos da reação nas ventaneiras⁽⁶⁾. Verificou-se também que para se obter uma elevada taxa de combustão, com uma taxa de injeção elevada (superior a 100 kg/tgusa), é necessário haver uma diminuição na proporção de pneu moído na mistura. Esta observação poderia ser explicada com base no mecanismo de combustão nas ventaneiras.⁽⁴⁾

Deve ser também comentado que quando se reduz o tamanho de grão do pneu, existe uma melhoria da combustão do material, similar ao que ocorre com o carvão mineral pulverizado.⁽⁵⁾ No entanto, não se pode esquecer que a maior cominuição do pneu implica em menores produtividades dos moinhos, significando que o custo de moagem se eleva, tanto sob o ponto de vista de capital, quanto operacional (CAPEX + OPEX). Isto significa que uma granulometria ótima deve existir quando se objetiva maximizar os resultados da injeção de pneus. Neste sentido, a mistura dos dois combustíveis pode ser benéfica, pois existe um aumento da taxa de combustão, quando se adiciona pneus ao carvão vegetal, de certa forma permitindo o aumento do tamanho de grão, para os mesmos níveis de taxa de combustão.

O impacto da implantação de projetos nesta linha vai significar ganhos tanto no aspecto energético, quanto na questão ambiental que envolve todo o setor siderúrgico, pois a idéia pode ser estendida para o setor a coque. É fato que a indústria automobilística é uma das que mais está envolvida com a grande quantidade de pneus que é consumida tanto no Brasil, quanto no mundo. Também é fato que esta própria indústria está imbuída da questão ambiental relativa ao efeito do gás estufa. Por outro lado existe uma determinação do Conama que exige que as empresas fabricantes de pneus tenham uma destinação de 110% dos pneus no



Brasil, ou seja, o projeto em tela vem de encontro a esta determinação, pois vai implicar no uso do pneu, sem qualquer impacto ambiental no tocante a geração principalmente de dioxinas que seriam geradas, se os pneus fossem utilizados em fornos de aquecimento, de clínquerização, ou de calcinação, pois as temperaturas de chama nestes estaria no máximo em torno 1.400°C.⁽⁵⁾ No caso do uso destes materiais em altos-fornos em regiões que vão desde 1.850°C a 2.400°C, isto é na zona de combustão dos mesmos (altos-fornos a carvão vegetal tem temperatura adiabática de chama da ordem de 1.800°C a 2.000°C e em altos-fornos a coque, superiores a 2.000°C), não haverá qualquer problema relativo a geração destes componentes cancerígenos.

5 CONCLUSÃO

Baseado nos resultados desta pesquisa pode-se concluir que:

- o efeito do tamanho do grão na taxa de combustão foi determinado. Observou-se que um aumento de 0,9 mm no tamanho médio do grão de pneu houve uma diminuição de 6% na taxa de combustão, para uma taxa de injeção de 50 kg/t gusa;
- misturas contendo carvão vegetal e carcaças de pneu podem aumentar a taxa de combustão. Quando 42% de pneu foi adicionado a mistura, uma taxa de combustão adicional de 10% foi obtida, para uma taxa de injeção de 100 kg/t gusa; e
- um aumento da taxa de injeção diminui a taxa de combustão. Utilizando uma mistura contendo 30% de carcaça de pneu e 70% de carvão vegetal, quando a taxa de injeção variou de 50 kg/t gusa para 150 kg/t gusa houve uma diminuição de 9,5% na taxa de combustão.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer FAPEMIG, CNPq, Fundação Gorceix, UFOP, Gusa Nordeste e todos aqueles que nos apoiaram neste projeto.

REFERÊNCIAS

- 1 ARAÚJO, L.A . Manual de Siderurgia. São Paulo: Editora Arte & Ciência, 1997. V.1, p196.
- 2 ASSIS, P.S.; ARAUJO FILHO, G. Technical and environmental aspects of tire injection into blast furnace tuyeres-some results. Presented In International Congress in Japan, November 2006, 4, p.
- 3 ASSIS, C.F.C. Caracterização de carvão vegetal para a sua injeção em altos fornos a carvão vegetal de pequeno porte- Dissertação de Mestrado submetida e aprovada. REDEMAT (CEGTEC-UEMG-UFOP) Fev 2008.
- 4 ARAÚJO FILHO, G.; ASSIS, P.S. Aspectos técnicos da injeção de pó de pneu em altos-fornos. Presented at 61º Congresso Internacional da ABM, Rio de Janeiro, Julho de 2006, 10, p.
- 5 ARAUJO FILHO, G., SALIERNO, G.F.; ASSIS, P.S. Technical and environmental considerations of the injection of tire into blast furnace tuyeres. Presented at TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2006. International Conference held in San Diego. Honour to Prof. Sohn. August 2006, 6, p.
- 6 ASSIS, P. S. Injeção de materiais pulverizados em altos-fornos. Ed. ABM, São Paulo, p. 292, 2007.